

CALIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA Y DISPONIBILIDAD DE MACRO Y MICRONUTRIENTES POR LA INCLUSION DE TRIGO COMO CULTIVO DE COBERTURA

MARCELO JAVIER BELTRAN¹; LUCRECIA BRUTTI¹; ROMINA ROMANIUK¹; SILVINA BACIGALUPPO²;
FERNANDO SALVAGIOTTI²; HERNÁN SAINZ-ROZAS³ & JUÁN ALBERTO GALANTINI⁴

Recibido: 27-05-15

Recibido con revisiones: 06-10-15

Aceptado: 06-10-15

RESUMEN

Los cultivos de cobertura aparecen como una opción que permite mejorar el balance de nutrientes y carbono en el suelo (C). El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la incorporación del trigo como cultivo de cobertura (CC) sobre la dinámica de la materia orgánica en el suelo y la disponibilidad de los principales macro y micronutrientes bajo diferentes rotaciones de cultivos. Este trabajo se realizó en un ensayo de larga duración bajo siembra directa. Los tratamientos fueron: soja-soja (S-S), soja-cultivo de cobertura-soja (S-CC-S), maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S) y maíz-cultivo de cobertura-soja-trigo/soja (M-CC-S-T/S). Como principales resultados, se pudo observar que la fracción de carbono orgánico comprendida entre los 53 y 105 mm (COPf), se incrementó significativamente cuando se incorporaron los CC al monocultivo de soja. El C menor a 53 mm (COa), fue significativamente mayor cuando se incorporó el CC a la rotación con predominio de gramíneas y no así en el caso del monocultivo de soja. El monocultivo de soja presentó un promedio de 11,1 g kg⁻¹ de carbono orgánico particulado total (COPg + COPf), siendo el valor más bajo y significativamente menor que para S-CC-S (17 g kg⁻¹). No se observaron diferencias significativas en la concentración de macronutrientes. En el caso de los micronutrientes, se pudo observar que las rotaciones con predominio de gramíneas sin CC tienen una mayor concentración de cinc (Zn) y manganeso (Mn) (2,2 y 63 mg kg⁻¹) que el monocultivo de soja en los primeros 5 cm de suelo (1,4 y 50 mg kg⁻¹ respectivamente). La concentración de estos micronutrientes además estuvo positivamente correlacionada con mayores contenidos de materia orgánica. El CC no pareció haber afectado la concentración de micronutrientes para este año de muestreo por lo que sucesivos análisis deberán realizarse para conocer su dinámica en el tiempo.

Palabras clave. Fracciones orgánicas, disponibilidad de nutrientes, rotaciones.

SOIL ORGANIC MATTER QUALITY, MACRO AND MICRONUTRIENT AVAILABILITY IN RESPONSE TO THE INCLUSION OF WHEAT AS COVER CROP

ABSTRACT

Cover crops appear as an option to improve the balance of carbon (C) and its quality. The aim of this study was to study the effect of wheat as a cover crop on the dynamics of organic matter and the availability of some macro and micro nutrients under different crop rotations. This work was carried out in a long-term experiment under non-tillage system. Treatments were: soybean-soybean (S-S), soybean-cover crop-soybean (S-CC-S), corn-soybean-wheat/soybean (C-S-W/S) and corn-cover crop-soybean-wheat/soybean (C-CC-S-W/S). As principal results, it was observed that the fraction of organic carbon between 53 and 105 mm (COPf) was significantly increased when CC were added to soybean monoculture. The carbon fraction of less than 53 mm (COa), was higher when cover crop were incorporated to the rotations. Soybean monoculture had a value of total organic carbon (COPg + COPf) of 11.1 g kg⁻¹, being the lowest value of all treatments and significantly lower than S-CC-S (17 g kg⁻¹). Soil macronutrients concentration had no differences between treatments. Rotations with grasses and legumes (M-S-T/S) determined in general a greater accumulation of zinc (Zn) and manganese (Mn) (2.2 and 63 mg kg⁻¹ respectively) than soybean monoculture (1.4 and 50 mg kg⁻¹) in the depth of 0-5 cm. The concentration of these micronutrients was positively correlated with organic matter content. In this year of study, the CC did not seem to have affected the concentration of micronutrients, thus successive analysis should be performed in order to study the effect of CC in micronutrients dynamics in time.

Key words. Organic fractions, nutrient availability, crop rotations.

1 Instituto de Suelos, INTA Castelar

2 EEA INTA Oliveros, Santa Fe

3 EEA INTA Balcarce, Buenos Aires

4 CERZOS-CONICET

*Autor de contacto: beltran.marcelo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años los suelos de la región pampeana han sufrido un intenso agotamiento de nutrientes como consecuencia de una prolongada historia agrícola (Miretti *et al.*, 2012). Este problema se agrava con el uso de variedades de cultivos de alto rendimiento, que demandan mayor cantidad de nutrientes. Hacia la década de 1990, como consecuencia de procesos de erosión de los suelos y la remoción de nutrientes sin reposición por fertilización, comenzaron a mostrar síntomas del empobrecimiento en nutrientes y reducciones en los contenidos de materia orgánica (MO) (Lavado & Taboada, 2009). Los diferentes cultivos pueden además afectar la concentración de materia orgánica del suelo debido a sus aportes de rastros (Conteh *et al.*, 1998). En situaciones de monocultivo de soja podría esperarse una disminución en los valores de MO del suelo por el menor aporte de residuos de cosecha de esta leguminosa en comparación con las gramíneas (Mazzilli *et al.*, 2014), pudiendo reducir el aporte de nutrientes de la MO, que es la principal reserva de los mismos (Cruzate & Casas, 2012). Una alternativa para incrementar el aporte de residuos en sistemas de agricultura con alta participación de soja, es la incorporación de cultivos de cobertura (CC). Los CC son promovidos actualmente como una práctica adecuada para complementar la siembra directa, especialmente en épocas que de otra forma presentarían suelo descubierto. En la región pampeana se recomienda su incorporación en los sistemas agrícolas dedicados al monocultivo de soja (*Glycine max*) puesto que incrementan la cobertura de los suelos (Álvarez *et al.*, 2010) y el contenido de MO, en especial su fracciones lábiles (Scianca *et al.*, 2006; Sainju *et al.*, 2007; Rubio *et al.*, 2011; Restovich *et al.*, 2011).

La materia orgánica está compuesta por fracciones de diferente labilidad. Las fracciones más lábiles son más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo de suelo y de cultivo. Para determinar el carbono lábil puede utilizarse la metodología propuesta por Cambardella & Elliot (1992). La misma se basa en una separación física de la MO utilizando un tamiz con una abertura de 53 μm . La fracción orgánica de mayor tamaño es la que queda retenida en el tamiz, y está constituida principalmente por restos orgánicos que aún no han sido totalmente procesados por los microorganismos. Esta es la fracción que se denomina carbono orgánico particulado (COP), y es la que se ve más afectada ante cambios en el manejo de los suelos (Fabrizzi *et al.*, 2003; Eiza *et al.*, 2006; Ciarlo *et al.*, 2004; Romaniuk & Guifré, 2008). Para una mejor comprensión de los flujos de carbono Galantini & Rosell (1997) han propuesto

un fraccionamiento más intensivo, incorporando un tamiz de 105 μm . De esta manera el COP puede ser dividido en el COP grueso (COPg) (105 y 2000 μm) y el COP fino (COPf) (53 y 105 μm). El COPg representa la fracción más activa del COT (Duval *et al.*, 2014) y consiste en la biomasa microbiana y la materia orgánica parcialmente humificada con una tasa de retorno de uno a cinco años (Anderson & Ingram, 1989). El COPf corresponde a la fracción más estable dentro del COP, con una vida media de 10 a 20 años (Galantini & Suñe, 2008). La fracción menor a 53 μm (carbono orgánico asociado) es considerada como el carbono orgánico ocluido y suele asociarse a la fracción más estable de la MO asociada a las arcillas. Numerosos investigadores han propuesto al carbono orgánico particulado como un indicador del estado o calidad del suelo y de su capacidad para proveer nutrientes (Murage *et al.*, 2007).

Salvagioti *et al.* (2013) informaron en un suelo Argiudol que al cabo de 3 años de inclusión del trigo como CC en un monocultivo de soja solo provocó cambios en el contenido de COPg a una profundidad de 3,5 cm, sin efectos significativos cuando el CC estaba incluido en rotaciones que ya incluían gramíneas. Estos autores concluyeron que el tiempo de experimentación no fue suficiente para detectar cambios en las fracciones de COPg estudiadas por la inclusión del CC en rotaciones con gramíneas.

La disponibilidad de nutrientes en el suelo puede ser afectada por la acción de los cultivos debido a diferentes tasas de exportación de nutrientes en grano y la cantidad y calidad de residuos de cosecha, que determinaría la proporción de nutrientes que se reincorporan al suelo luego de cada campaña. El cultivo de soja tiene una mayor exportación de nutrientes por tonelada de grano que las gramíneas (Ciampitti & García, 2009), pero a la vez posee una mayor concentración de nutrientes en sus residuos de cosecha que el maíz (Mortvedt *et al.*, 1983) con una menor relación C/N, lo que determina que sean más fácilmente atacados por los microorganismos. Por lo tanto se esperaría que distintas secuencias de cultivos, teniendo en cuenta rendimientos y concentración de nutrientes en grano y residuos, afecten de manera diferente el ciclo de los nutrientes. A su vez, la inclusión de un cultivo de cobertura en las rotaciones puede llegar a modificar el reciclado de nutrientes debido a varios factores. Por un lado el incremento de carbono lábil podría afectar los nutrientes ligados a la MO. La disponibilidad de nitrógeno (N) y azufre (S) se encuentra estrechamente ligada al ciclo de la MO. Se ha demostrado que incrementos en la materia orgánica particulada se relacionan positivamente con la liberación del N (Cambardella & Elliot, 1992,

1994). Dado que la inclusión de CC en las rotaciones agrícolas puede incrementar la concentración de materia orgánica particulada (MOP) de los suelos (Scianca *et al.*, 2006, Sainju *et al.*, 2007; Restovich *et al.*, 2011) entonces es esperable que también afecte la dinámica del N (Beltrán *et al.*, 2014) y S (Galantini *et al.*, 2004). A su vez, la absorción de nutrientes cuando el CC se encuentra en pie disminuye la pérdida por lixiviación de los nutrientes móviles (Salmerón *et al.*, 2011). Debe considerarse también, que la presencia de los CC estimula la actividad microbiana en el suelo y de este modo afecta la disponibilidad de algunos nutrientes (Kunze *et al.*, 2011).

Además, los CC no solo pueden afectar la disponibilidad, sino también la distribución de nutrientes en el perfil del suelo, debido a su absorción de capas más profundas y su reincorporación al suelo en superficie una vez que son secados y se descomponen sus tejidos, produciendo una marcada estratificación y el incremento de nutrientes principalmente poco móviles en superficie. Por ejemplo, en el caso del fósforo (P) y potasio (K) los cultivos de cobertura tienen un efecto estratificador sobre sus concentraciones, debido a que producen un incremento de los mismos en superficie debido a su baja movilidad (Tiecher *et al.*, 2012). El efecto de estratificación también ha sido reportado para Ca y Mg (Calegari *et al.*, 2013). Para el caso del P además los CC estimulan la actividad enzimática del suelo que puede llegar a incrementar su disponibilidad por la acción de solubilizadores de P (Horst *et al.*, 2001).

La disponibilidad de los micronutrientes está fuertemente condicionada por las propiedades físico-químicas de los suelos (Moraghan & Mascagni, 1991), dependiendo de varios factores, entre ellos del nivel de MO, pH, potencial redox, la textura y la interacción con otros nutrientes. Debido a que en la región pampeana no son frecuentes las fertilizaciones con micronutrientes, la principal fuente para los cultivos es la MO (Vázquez, 2005). Los sistemas de cultivos pueden incidir sobre la disponibilidad de micronutrientes debido a sus efectos sobre las propiedades de los suelos, especialmente el pH (Chandi & Takkar, 1982) y/o cambios en la calidad o cantidad de materia orgánica. Iyengar *et al.* (1981), encontraron que la concentración de zinc (Zn), estaba directamente correlacionada con los niveles de MO. Según Shuman (1988) la concentración de cobre (Cu) y de manganeso (Mn) es afectada por los niveles de MO debido a que el Cu es muy sensible a generar quelatos con MO y a su vez su descomposición aumenta la actividad redox beneficiando la solubilidad del Mn. En consecuencia, al afectarse los niveles

de MO del suelo se esperarían cambios en la disponibilidad de los micronutrientes anteriormente mencionados.

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar el efecto de la incorporación del trigo como cultivo de cobertura sobre: (a) la dinámica de la materia orgánica y el nitrógeno asociado y (b) sobre la disponibilidad de macro y micronutrientes en un Argiudol Típico de la Pampa Ondulada en secuencias de cultivo que incluyen soja, luego de 6 años de iniciadas secuencias con diferente proporción de gramíneas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó sobre un ensayo de larga duración, instalado en el año 2006, en la Estación Experimental INTA Oliveros, con una historia de agricultura continua de más de 50 años, con una rotación de maíz-soja-trigo/soja en siembra directa en los últimos 15 años. El suelo es un Argiudol Típico serie Maciel, de textura franco limosa. El ensayo se basa en un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: soja-soja (S-S), soja-cultivo de cobertura-soja (S-CC-S), maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S) y maíz-cultivo de cobertura-soja-trigo/soja (M-CC-S-T/S). El cultivo de cobertura utilizado fue trigo. Todos los años el secado de este cultivo se realizó en el estadio de espiga embuchada. Cada unidad experimental fue de 13x50 m. En la Tabla 1 se presenta el esquema de rotaciones. En diciembre de 2012, luego del secado del último CC del segundo ciclo de rotaciones se realizó un muestreo de suelo a 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad para las tres repeticiones de cada tratamiento. Cada muestra estuvo compuesta por 10 submuestras. Las muestras fueron secadas en estufa y pasadas por tamiz de 2 mm. Se determinó carbono oxidable por el método de oxidación húmeda de Walkey y Black (Nelson & Sommers, 1982), y nitrógeno total por el método de Kjeldhal (Bremner & Mulvaney, 1982). Se calculó el stock de C y N para 0-20 cm, afectando los valores de concentración por la densidad aparente para cada estrato. El contenido de fósforo extractable fue determinado por el método de Bray y Kurtz I (1945). Para la extracción de bases: calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) se utilizó el método del acetato de amonio pH 7 (Simard *et al.*, 1993). Para la cuantificación de micronutrientes asimilables: cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) se realizó la extracción con DTPA (pentaacetato de dietilentriamina) pH 7,3 (Lindsay & Norvell, 1978). Las concentraciones de macro y micronutrientes se midieron con un equipo de absorción atómica Varian 2005.

La determinación de carbono orgánico particulado se basó en la metodología propuesta por Cambardella & Elliot (1992) modificada por Galantini (2005). Las muestras dispersadas de suelo fueron pasadas por un juego de tamices de 105 µm y

Tabla 1. Secuencia de cultivos para cada rotación desde el comienzo del ensayo.

Table 1. Crop sequences for each rotation from the beginning of the trial.

Secuencia	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
S -S	S	S	S	S	S	S
S -CC -S	S -CC	S -CC	S -CC	S -CC	S -CC	S -CC
M -S -T/S	M	S	T /S	M	S	T/S
M -CC -S -T/S	M -CC	S	T/S	M -CC	S	T/S

S: soja de 1º, CC: trigo como cultivo de cobertura. M: maíz, T/S: trigo-soja de 2ª.

53 µm de abertura. De esta manera se obtuvieron tres fracciones: la fracción gruesa (105-2000 µm) que contiene partículas gruesas de carbono orgánico (COPg) y arenas finas a gruesas; fracción media (53 a 105 µm) que incluye las partículas finas carbono orgánico (COPf) y la arena muy fina; y la fracción fina (<53 µm) que contiene mineral asociado al carbono orgánico (COa), así como limo y arcilla minerales. El carbono presente en cada fracción fue determinado por el método de oxidación húmeda (Nelson & Sommers, 1982). El nitrógeno orgánico total (NOT) y el nitrógeno orgánico particulado (NOP) fino y grueso (NOPf y NOPg) se determinaron por Micro Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). El NO asociado a la fracción mineral (NOa) se determinó por diferencia entre los contenidos de NOT y de NOP (suma de NOPg y NOPf).

A partir de estas determinaciones se calculó la relación C/N de cada una de estas fracciones con el fin de determinar el efecto de la inclusión del CC en cada secuencia.

Los datos fueron analizados mediante el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2008) realizando análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias a través de LSD ($P < 0,05$) y test de correlaciones con un $P < 0,05$ para el Mn y un $P < 0,1$ para el Zn y el Fe.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono y nitrógeno total del suelo y en sus diferentes fracciones

No se observaron diferencias significativas en las concentraciones de C y N totales ni en la relación C/N (Tabla 2) entre tratamientos ($p > 0,05$). Tampoco se encontraron diferencias en los valores de stock de C y N y relación C/N de 0-20 cm de profundidad. Para la concentración de C y N se observaron valores significativamente mayores ($p < 0,05$) en 0-5 cm que a 5-10 y 10-20 cm para los tratamientos sin cultivo de cobertura (S-S y M-S-T/S) (Tabla 2). La estratificación en profundidad del N se produce por efecto de la siembra directa (Diovisalvi *et al.*, 2008). En el presente estudio no se observó un efecto del CC en la acumulación

de N orgánico en superficie como ha sido reportado por Beltrán *et al.* (2014) y Villamil *et al.* (2006).

Se analizaron los valores de C y N particulado total (la suma de las fracciones de COPg+COPf y NOPg+ NOPf respectivamente) para los diferentes tratamientos. Solo se encontraron diferencias significativas para el COP total entre S-S y S-CC-S (Fig. 1), con un incremento relativo promedio del 77% al incorporar el trigo como CC al monocultivo de soja ($p < 0,05$).

En la Figura 2 se presentan los valores medios de C y N en las distintas fracciones y a diferente profundidad del suelo. Puede observarse que para los primeros 5 cm de profundidad no se presentaron diferencias significativas en los valores de COPg entre tratamientos (Fig. 2a).

Los valores de NOPg en los primeros 5 cm (Fig. 2b) fueron 92%, 115% y 91 % mayores para S-S que para S-CC-S, M-S-T/S y M-CC-S-T/S respectivamente ($p < 0,05$). Considerando que la fracción gruesa está principalmente compuesta por restos del residuo del cultivo que aún no ha sido completamente incorporado a la MO, estos resultados pueden denotar la mayor concentración de N presente en los residuos del cultivo de soja (Galantini *et al.*, 1992; Andriulo & Cordone, 1998). Una mayor cantidad de N favorece el crecimiento de la comunidad microbiana, lo cual incrementa a su vez la pérdida de C como CO_2 en el proceso de respiración de los microorganismos (Colozzi-Filho *et al.*, 2001), motivo por el cual gran parte de estos residuos no es finalmente incorporada a la MO estable del suelo.

La fracción de COPf en los primeros 5 cm (Fig. 2a) fue 68% mayor para S-CC-S respecto a S-S, ($p < 0,05$). Esto evidencia el incremento en los residuos orgánicos que se incorporan al suelo debido a la inclusión de los cultivos de cobertura. Es de esperar que este incremento en el C de esta fracción redunde en el tiempo en incrementos en los valores de COT. En los tratamientos con gramíneas en la rotación, la inclusión del trigo como CC no produjo aumen-

Tabla 2. Valores medios y error estándar de concentración de carbono orgánico total (COT) y nitrógeno total (Nt) y relación C/N para los distintos tratamientos para 0-5, 5-10 y 10-20 cm; y valores medios y error estándar de stock de carbono y nitrógeno y relación C/N para 0-20 cm de profundidad.

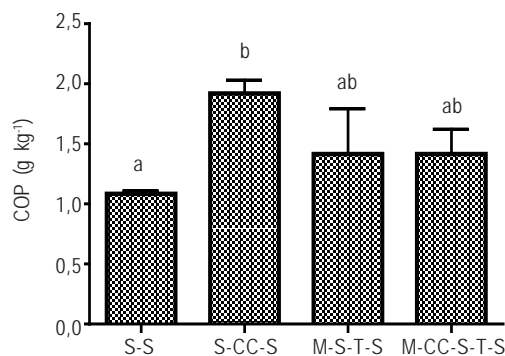
Table 2. Mean values and standard error of total organic carbon (COT), total nitrogen (NT) and C/N ratio for treatments for 0-5, 5-10 and 10-20 cm; and mean values and standard error of carbon and nitrogen stock and its relationship for 0-20 cm.

S-S									
	C (g kg ⁻¹)				N (g kg ⁻¹)				C/N
0-5	12,8	± 1,1	b		1,5	± 0,1	b		8,5 ± 0,52 a
5-10	9,1	± 0,9	a	N.S.	1,1	± 0,02	a	N.S.	8,3 ± 0,58 a N.S.
10-20	9,1	± 1,2	a		1,1	± 0,1	a		8,3 ± 0,36 a
	C (Mg ha ⁻¹)				N (Mg ha ⁻¹)				C/N
0-20	23,2	± 0,9		N.S.	2,7	± 0,09		N.S.	8,5 ± 0,16 N.S.
S-CC-S									
	C (g kg ⁻¹)				N (g kg ⁻¹)				C/N
0-5	12,4	± 3,0	a		1,5	± 0,3	a		8,3 ± 0,46 a
5-10	9,5	± 0,7	a	N.S.	1,3	± 0,2	a	N.S.	7,3 ± 1,36 a N.S.
10-20	11,5	± 4,2	a		1,3	± 0,4	a		8,8 ± 1,00 a
	C (Mg ha ⁻¹)				N (Mg ha ⁻¹)				C/N
0-20	25,1	± 1,8		N.S.	3,0	± 0,15		N.S.	8,3 ± 0,40 N.S.
M-S-T/S									
	C (g kg ⁻¹)				N (g kg ⁻¹)				C/N
0-5	15,5	± 0,7	b		1,7	± 0,3	b		9,1 ± 0,95 a
5-10	9,3	± 0,8	a	N.S.	1,1	± 0,02	a	N.S.	8,5 ± 0,88 a N.S.
10-20	8,7	± 1,3	a		1	± 0,1	a		8,7 ± 0,82 a
	C (Mg ha ⁻¹)				N (Mg ha ⁻¹)				C/N
0-20	23,47	± 1,05		N.S.	2,7	± 0,12		N.S.	8,62 ± 0,29 N.S.
M-CC-S-T/S									
	C (g kg ⁻¹)				N (g kg ⁻¹)				C/N
0-5	14,2	± 3,3	a		1,6	± 0,3	a		8,9 ± 0,81 a
5-10	9,5	± 0,4	a	N.S.	1,3	± 0,2	a	N.S.	7,3 ± 0,70 a N.S.
10-20	11,3	± 2,9	a		1,3	± 0,4	a		8,7 ± 0,93 a
	C (Mg ha ⁻¹)				N (Mg ha ⁻¹)				C/N
0-20	24,2	± 1,1		N.S.	2,8	± 0,2		N.S.	8,57 ± 0,43 N.S.

S-S: soja-soja, S-CC-S: soja-cultivo de cobertura-soja, M-S-T/S: maíz-soja-trigo-soja de segunda, M-CC-S-T/S: maíz- cultivo de cobertura-soja-trigo-soja de segunda. Las letras en minúscula muestran las diferencias entre profundidades; y las letras en mayúscula representan el análisis estadístico entre tratamientos. N.S.: no significativo ($p < 0,05$).

Figura 1. Valores medios y error estándar para el carbono orgánico particulado total (COPg + COPf) a los 0-5 cm de profundidad para las diferentes rotaciones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). S-S: soja-soja, S-CC-S: soja-cultivo de cobertura-soja, M-S-T-S: maíz-soja-trigo-soja, M-CC-S-T-S: maíz- cultivo de cobertura-soja-trigo-soja.

Figure 1. Mean values and standard error for the total particulate organic carbon (COPg + COPf) to 0-5 cm depth for the different crop sequences.



tos significativos en esta fracción de carbono. No se observaron diferencias significativas en los valores de NOPf entre tratamientos (Fig. 2b).

Según los resultados obtenidos, el COPf resultó ser más sensible para mostrar los cambios producidos por la incorporación de CC que la fracción gruesa al analizar los primeros 5 cm de profundidad cuando se incorporó el CC al monocultivo de soja. Estos incrementos en el COP se deberían al aporte de residuos de los cultivos que está estrechamente relacionado con los cambios en los contenidos de MO (Studdert & Echeverría, 2000). Resultados similares fueron reportados por Duval *et al.* (2013) y Diovisalvi *et al.* (2008), quienes concluyeron que la fracción fina es más sensible para mostrar los cambios según el manejo al comparar sitios cultivados con no cultivados en la región pampeana.

El COa en los primeros 5 cm (Fig. 2a) presentó los mayores valores para el tratamiento M-CC-S-T-S siendo los mismos 135% mayores que para la misma rotación sin CC (M-S-T/S). La incorporación de CC al monocultivo de soja no produjo incrementos significativos en los valores de COa, sin embargo los mismos fueron en promedio 43% mayores para S-CC-S respecto a S-S. En situación de monocultivo de soja hay menos entrada de residuos en el suelo y mayor velocidad de descomposición de los mismos (Cadisch *et al.*, 1998). Estos resultados muestran que el mayor aporte de rastrojo debido a la incorporación de CC en el mediano plazo podrían determinar una mayor acumulación de carbono en forma estable, que contribuye a mantener y/o aumentar la calidad de los suelos. Sin embargo, un aumento de la COa no necesariamente significa un incremento de la MO resistente, ya que debe considerarse que por el tamiz de 53 mm pasan las partículas orgánicas e inorgánicas menores a este tamaño, pero también pasa carbono soluble en el proceso de lavado de la muestra de suelo, por lo cual no puede atribuirse que un incremento del COa signifique exclusivamente un aumento del carbono estable.

Los resultados encontrados en el presente trabajo muestran la misma tendencia entre secuencias de cultivos a los observados en 2010 en este mismo ensayo, cuando se cerró el primer ciclo de rotación del experimento, evaluando los cambios en C orgánico, pero a una profundidad de 3,5 cm (Salvagiotti *et al.*, 2013); y en el 2011 en el COP total evaluado en los primeros 20 cm (Brutti *et al.*, 2013). Estos resultados concuerdan con los hallados por Rubio *et al.* (2011) donde los tratamientos con cultivo de cobertura mostraron una tendencia hacia mayores concentraciones

de carbono orgánico en el suelo, asociado a incrementos en la fracción lábil de carbono orgánico debido a los mayores aportes de residuos orgánicos.

Por debajo de los 5 cm de profundidad no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en las distintas fracciones medidas de C y N (Fig. 2c,d,e,f). Es esperable que los mayores cambios derivados de la inclusión de CC se den en los primeros cm del suelo, ya que los rastrojos quedan en superficie y, siendo el sistema de labranza la siembra directa, los mismos no son incorporados.

No se observa la misma tendencia al incorporar el CC a la rotación que ya incluía trigo como cultivo comercial y maíz. El monocultivo de soja fue el tratamiento que presentó los menores valores de carbono particulado pudiendo conducir a una degradación de este indicador de calidad de suelo, más si se considera que menores valores actuales de carbono lábil podrían conducir a menores valores futuros de carbono orgánico total.

Estos resultados coinciden con los reportados por Eiza *et al.* (2005), quienes concluyeron que el COP demostró ser un indicador más sensible que el COT, para manifestar diferencias por efecto del manejo, especialmente en los primeros centímetros del suelo bajo siembra directa.

Si se comparan los valores de COPg/NOPg entre tratamientos (Fig. 3a) se observa que a pesar de que no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) a las distintas profundidades estudiadas, puede observarse que para los primeros 5 cm la incorporación del CC al monocultivo de soja marca una tendencia hacia incrementos en la relación C/N de esta fracción.

La relación COPf/NOPf (Fig. 3b) se incrementó en promedio un 47% para S-CC-S respecto de S-S en la profundidad de 0-5 cm siendo esta diferencia no significativa, posiblemente debido al aporte de C de los residuos de trigo. Esto mismo pudo observarse también para la relación COa/NOa (Fig. 3c) indicando que parte de los residuos gruesos se fueron incorporando a la MO del suelo, cambiando de esta forma la relación C/N de la misma. La inclusión de CC en la rotación M-S-T/S mostró incrementos de la relación C/N en la fracción fina y asociada, siendo estadísticamente mayor en esta última fracción cuando se incorporó el CC (M-CC-S-T/S) en los primeros 5 cm de profundidad.

Se realizó análisis de regresión lineal entre la relación C/N de las fracciones con los valores de C y N asociado, particulado fino y particulado grueso respectivamente (Fig. 4), con la finalidad de evaluar cuál de las variables tuvo mayor

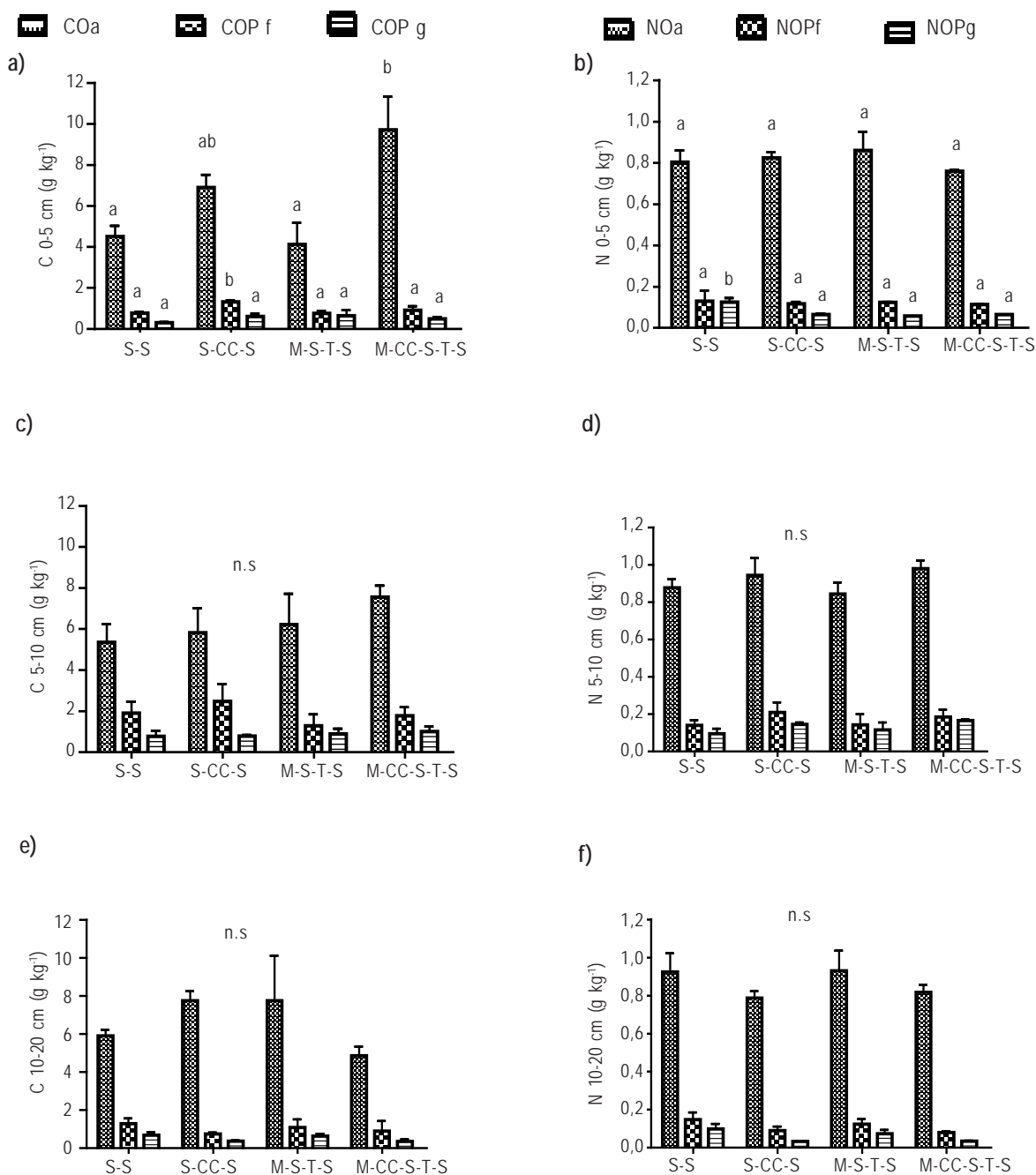


Figura 2. Valores medios y error estándar para el carbono orgánico particulado grueso (COPg), carbono orgánico particulado fino (COPf), y carbono orgánico asociado (COa) a los a) 0-5 cm, c) 5-10 cm y e) 10-20 cm de profundidad; y nitrógeno orgánico particulado grueso (NOPg), nitrógeno orgánico particulado fino (NOPf), y nitrógeno orgánico asociado (NOa) para los distintos tratamientos a los b) 0-5 cm, d) 5-10 cm y f) 10-20 cm de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). S-S: soja-soja, S-CC-S: soja-cultivo de cobertura-soja, M-C-S-T-S: maíz-soja-trigo-soja, M-CC-S-T-S: maíz- cultivo de cobertura-soja-trigo-soja.

Figure 2. Mean values and standard error for coarse particulate organic carbon (COPg), fine particulate organic carbon (COPf) and associated organic carbon (COa) to a) 0-5 cm c) 5-10 cm and e) 10-20 cm depth; and coarse particulate organic nitrogen (NOPg), fine particulate organic nitrogen (NOPf), and associated organic nitrogen (NOA) for the different treatments to b) 0-5 cm, d) 5-10 cm f) and 10-20 cm depth.

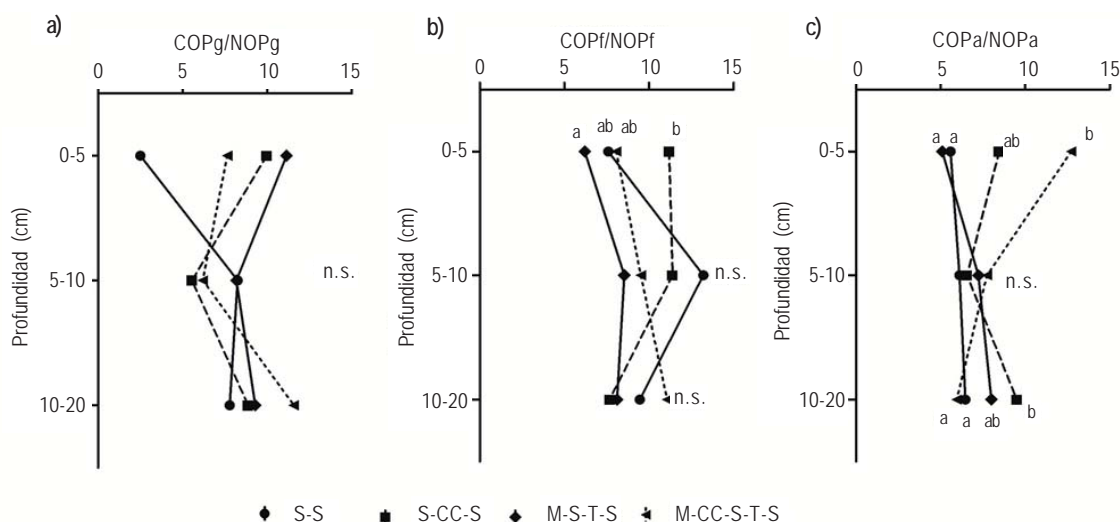


Figura 3. Valores medios de relaciones C/N a) carbono orgánico particulado grueso/nitrógeno orgánico particulado grueso (COPg/NOPg), b) carbono orgánico particulado fino/nitrógeno orgánico particulado fino (COPf/NOPf), c) carbono orgánico asociado/nitrógeno orgánico asociado (COa/NOa) a tres profundidades: 0-5, 5-10 y 10-20 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). S-S: soja-soja, S-CC-S: soja-cultivo de cobertura-soja, M-C-S-T-S: maíz-soja-trigo-soja, M-CC-S-T-S: maíz- cultivo de cobertura-soja-trigo-soja.

Figure 3. Mean values for a) coarse particulate organic carbon/coarse particulate organic nitrogen (COPg/NOPg), b) fine particulate organic carbon/fine particulate organic nitrogen (COPf /NOPf), and c) associated organic carbon/associated organic nitrogen (COa/NOa) at three depths: 0-5, 5-10 and 10-20 cm.

incidencia en los cambios hallados en la relación C/N de estas fracciones. Puede observarse que en la fracción asociada el COa tuvo mayor incidencia sobre la relación C/N (Fig. 4 a y b). En la fracción fina el COPf tuvo mayor incidencia para definir los cambios en la relación C/N (Fig. 4 c y d); mientras que el NOPg definió esta relación en la fracción gruesa (Fig. 4 e y f). También se puede observar que a medida que disminuye el tamaño de las fracciones aumenta el ajuste de los datos, debido posiblemente a que en la fracción gruesa está conformado principalmente por material vegetal en descomposición temprana; mientras que en la fracción fina y especialmente en la asociada el material se encuentra más estabilizado acercándose a la relación C/N del suelo.

Los residuos de soja tienen una labilidad mayor en relación a los residuos de gramíneas debido a la baja relación C/N, en consecuencia el tiempo relativo de permanencia en el suelo es menor ya que rápidamente son degradados por los microorganismos del suelo (Salvagiotti *et al.*, 2013). La incorporación de trigo como CC a la rotación aporta mayor cantidad de residuos con una mayor relación C/N que tardan más en degradarse protegiendo al suelo de la erosión en mayor medida que los residuos de cosecha de soja.

Efecto de las rotaciones y el cultivo de cobertura sobre la disponibilidad de nutrientes

No se observaron diferencias significativas en los contenidos de Ca, Mg, P y K entre tratamientos para las tres profundidades evaluadas, pero sí se encontraron diferencias en la estratificación para el K, P y Mg según la secuencia de rotación (Tabla 3). El K y el P presentaron una estratificación marcada con la profundidad, con mayores valores en superficie en todos los tratamientos debido a la poca movilidad que presentan estos nutrientes en el suelo (Rivero *et al.*, 2012). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas para el K en todos los tratamientos, pero para el P solo lo fueron en M-S-T/S. Esta falta de diferencia en los valores de P puede deberse a la alta variabilidad espacial que tiene este nutriente en los suelos (Giuffrè *et al.*, 1998).

El Mg no presentó la misma tendencia que la hallada para K y P. En este caso se encontraron los menores valores a 5-10 cm. El Ca no mostró diferencias significativas en profundidad.

Las concentraciones de micronutrientes a las tres profundidades se presentan en la Figura 5. En general se observó una tendencia de mayores valores en superficie disminuyendo con la profundidad, a excepción del Fe y Cu en mo-

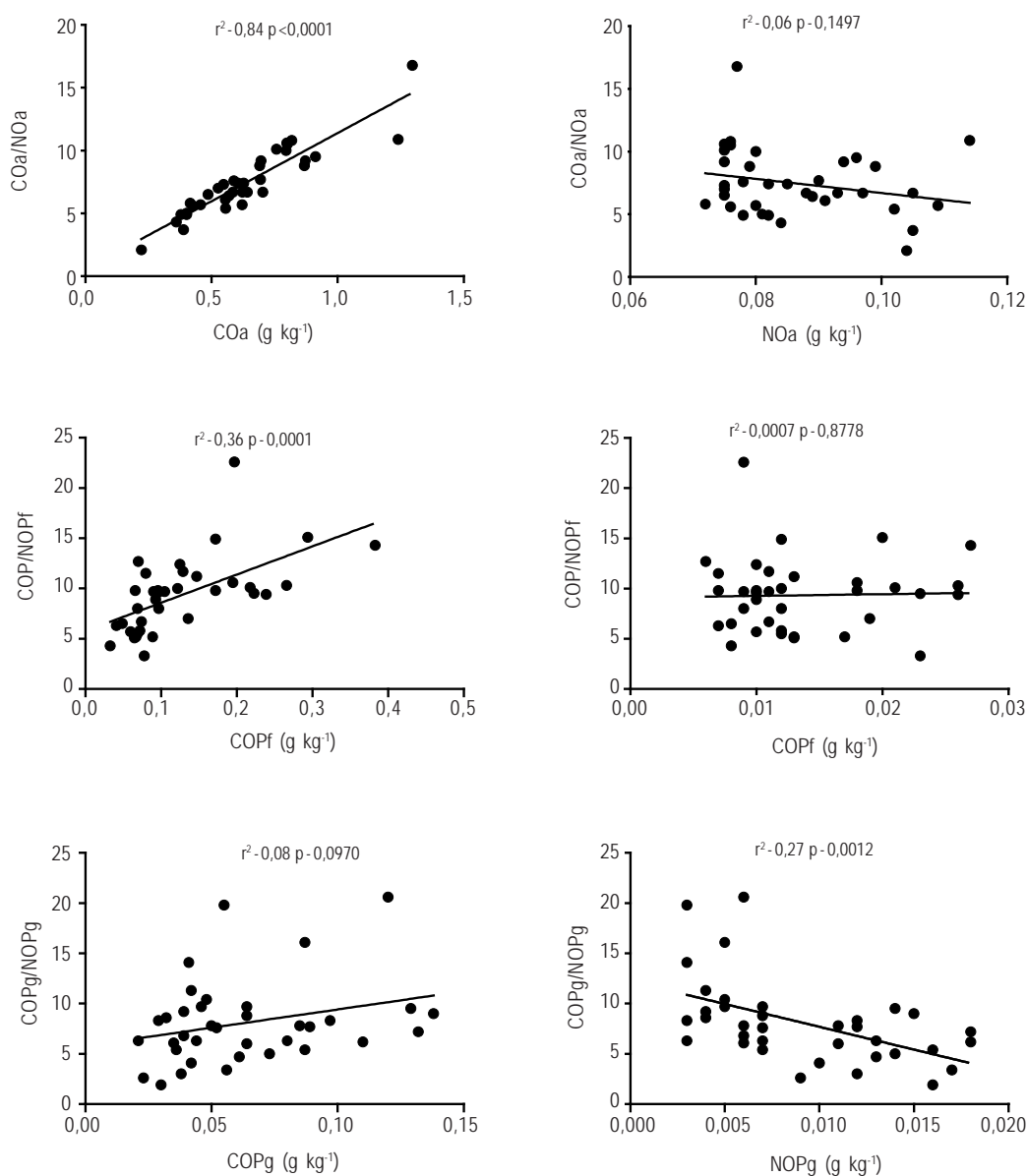


Figura 4. Regresión lineal entre los valores de a) Relación CO_a/NO_a y CO_a , b) Relación CO_a/NO_a y NO_a ; c) Relación $COPf/NOPf$ y $COPf$; y d) Relación $COPf/NOPf$ y $NOPf$; e) $COPg/NOPg$ y $COPg$; f) $COPg/NOPg$ y $NOPg$ considerando todos los tratamientos y profundidades evaluadas.

Figure 4. Linear regression of a) CO_a/NO_a and CO_a , b) CO_a/NO_a and NO_a ; c) $COPf/NOPf$ and $COPf$; y d) $COPf/NOPf$ and $NOPf$; e) $COPg/NOPg$ and $COPg$; f) $COPg/NOPg$ and $NOPg$ considering all treatments and depths.

nocultivo de soja (S-S). El Zn y el Mn fueron significativamente mayores para M-S-T/S que para S-S en los primeros 5 cm.

Estos resultados muestran que las rotaciones con gramíneas y leguminosas para el año en estudio, muestra una mayor acumulación de algunos micronutrientes en los primeros cm del suelo. Este efecto no mostró ser mayor

cuando se incluyeron los cultivos de cobertura, por lo que los niveles de estos micronutrientes deberían ser estudiados en sucesivas campañas para poder determinar efectos a largo plazo de las rotaciones o el empleo de los CC. A pesar de que las diferencias entre las rotaciones con y sin CC no fueron significativas, si es posible observar una tendencia

Tabla 3. Valores medios y error estándar para Calcio (Ca); Magnesio (Mg); Potasio (K) y Fósforo (P) disponibles en suelos a tres profundidades (0-5, 5-10 y 10-20 cm) para los tratamientos evaluados.

Table 3. Mean values and standard error for available Calcium (Ca); Magnesium (Mg); Potassium (K) and Phosphorus (P) at three soil depths (0-5, 5-10 and 10-20 cm) for each treatment.

Ca (cmol _c kg ⁻¹)			Mg (cmol _c kg ⁻¹)			K (cmol _c kg ⁻¹)			P (mg.kg ⁻¹)			
S-S												
0-5	6,55	± 0,98	a	2,02	± 0,08	ab	0,85	± 0,05	c	33,74	± 17,62	a
5-10	6,05	± 0,78	a	1,95	± 0,04	a	0,69	± 0,06	b	15,96	± 7,08	a
10-20	6,92	± 0,98	a	2,26	± 0,23	b	0,54	± 0,08	a	15,96	± 7,08	a
S-CC-S												
0-5	6,55	± 0,65	a	2,22	± 0,25	ab	0,83	± 0,09	b	31,36	± 16,25	a
5-10	5,68	± 1,87	a	1,9	± 0,29	a	0,62	± 0,06	a	22,05	± 10,51	a
10-20	8,15	± 0,85	a	2,36	± 0,01	b	0,64	± 0,05	a	22,05	± 10,51	a
M-S-T/S												
0-5	5,68	± 0,78	a	2,12	± 0,04	b	0,88	± 0,05	b	49,33	± 9,33	b
5-10	5,68	± 1,3	a	1,81	± 0,09	a	0,62	± 0,04	a	25,09	± 9,75	a
10-20	7,66	± 1,93	a	2,24	± 0,21	b	0,6	± 0,04	a	25,09	± 9,75	a
M-CC-S-T/S												
0-5	6,79	± 2,04	a	2,21	± 0,31	a	0,76	± 0,03	b	29	± 6,75	a
5-10	6,18	± 0,98	a	1,9	± 0,17	a	0,57	± 0,03	a	15,05	± 6,99	a
10-20	7,04	± 0,21	a	2,24	± 0,21	a	0,62	± 0,06	a	15,05	± 6,99	a

S-S: soja-soja, S-CC-S: soja-cultivo de cobertura-soja, M-C-S-T-S: maíz-soja-trigo-soja, M-CC-S-T-S: maíz- cultivo de cobertura-soja-trigo-soja. Letras diferentes indican diferencias significativas entre profundidades ($p < 0,05$).

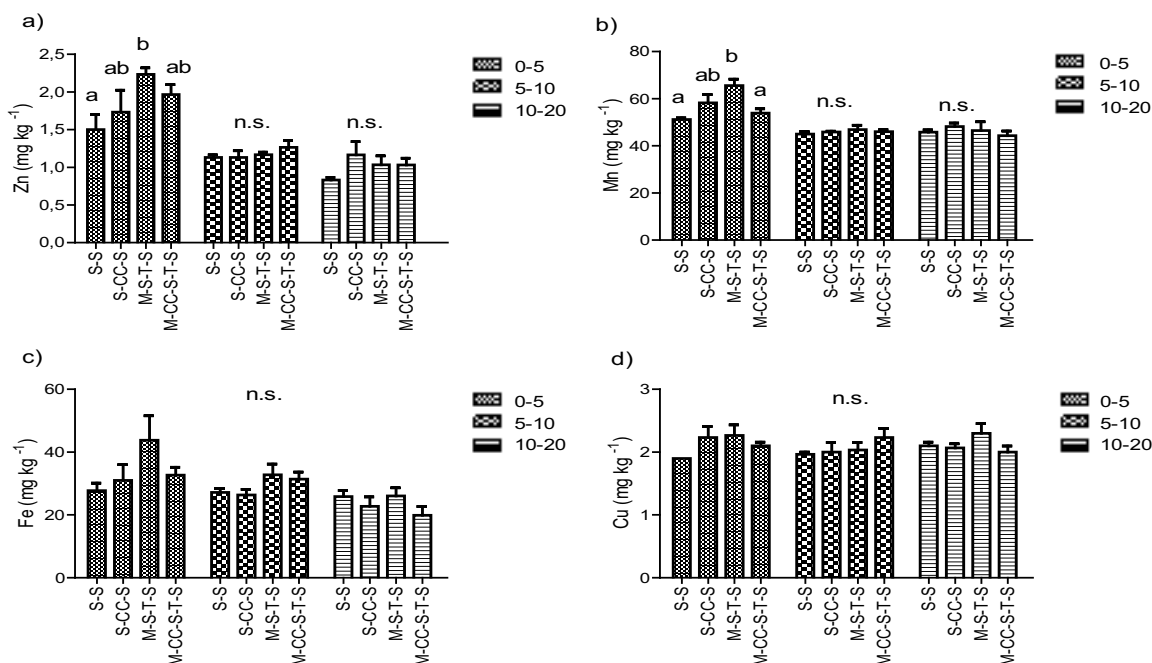


Figura 5. Valores medios y error estándar para el Zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y cobre (Cu) disponibles a tres profundidades (0-5, 5-10 y 10-20 cm) para los tratamientos evaluados. Letras diferentes indican diferencias significativas entre secuencias ($P < 0,05$). S-S: soja-soja, S-CC-S: soja-cultivo de cobertura-soja, M-C-S-T-S: maíz-soja-trigo-soja, M-CC-S-T-S: maíz- cultivo de cobertura-soja-trigo-soja.

Figure 5. Mean values and standard deviations for available Zinc (Zn), manganese (Mn), iron (Fe) and copper (Cu) at three soil depths (0-5, 5-10 and 10-20 cm) for each treatment.

de mayores valores de micronutrientes (Zn, Mn y Cu, $p < 0,10$) cuando se incorpora el CC al monocultivo de soja, a pesar de que no se presentan incrementos en los valores de MO total. La mayor concentración de Zn y Mn observados podría estar asociada a un reciclado de estos elementos desde capas más profundas ya que estos micronutrientes presentan una baja movilidad en el suelo. Además el DTPA extrae parte de los micronutrientes unidos a la MO (Haby & Sims 1979), por lo que cambios en las fracciones lábiles de la MO pueden llegar a modificar la disponibilidad de estos nutrientes por redistribución de las fracciones de Zn y Mn del suelo.

Para los primeros 5 cm de profundidad se obtuvo una correlación positiva entre los valores de Zn, Mn y Fe con los valores de C total (Zn $r^2 0,5$; $p < 0,10$; Mn $r^2 0,64$; $p < 0,05$ y Fe $r^2 0,53$; $p < 0,10$, respectivamente). Entre los 5 y 10 cm de profundidad esta relación fue significativa para el Mn y Fe (para ambos $r^2 0,55$; $p < 0,10$), y entre los 10 y 20 cm de profundidad solo fue significativa para el Zn ($r^2 0,55$; $p < 0,05$). Esto se corresponde con lo publicado por Kparamwang *et al.* (1995) quienes encontraron una correlación positiva entre la disponibilidad de hierro (Fe) y manganeso (Mn) y los niveles de MO. Roca *et al.* (2007) encontraron una correlación positiva entre la disponibilidad de Cu, Mn, boro (B) y Zn con la MO de los suelos, mientras que Sainz-Rozas *et al.* (2013) encontraron una relación positiva entre la disponibilidad de Zn y los niveles de MO, aunque esta relación fue baja. Aruani y Sánchez (2002) encontraron que mayores contenidos de MO y la fertilización fosforada incrementan los niveles de Fe, Cu, Zn y Mn disponible para las plantas. Finalmente, se debe tener en cuenta que las distintas rotaciones no recibieron el agregado de Zn y que las dosis de P fueron iguales para todas las secuencias.

Los valores hallados de micronutrientes se compararon con el rango de valores críticos extractables con DTPA informado por Sims & Johnson (1991) en Buffa & Ratto (2005). Estos son: Cu: 0,1 a 2,5 mg kg⁻¹; Fe: 2,5 a 5 mg kg⁻¹; Mn: 1 a 5 mg kg⁻¹; Zn: 0,8 a 1 mg kg⁻¹. Debido a que estos valores han sido obtenidos a 0-20 cm de profundidad, se procedió a realizar el cálculo del promedio ponderado a esta profundidad. Estos valores fueron para Cu, Fe, Mn y Zn en promedio 2,1; 27,6; 48,9 y 1,3 mg kg⁻¹, respectivamente. El Cu y el Zn se encuentran dentro del rango de suficiencia mientras que el Fe y Mn, superaron los valores máximos del rango. Los datos calculados para la profundidad de 0-20 cm en este ensayo son similares a los reportados por Ratto *et al.* (2006), Lavado *et al.* (1999) Urricariet & Lavado (1999) y Rivero *et al.* (2007) en Argiudoles típicos

del norte de la provincia de Buenos Aires y a los hallados por Buffa & Ratto (2005) en diferentes suelos de Córdoba y Sainz-Rozas *et al.* (2013) en diversos suelos de la Argentina.

CONCLUSIONES

La incorporación del CC al monocultivo de soja produjo incrementos significativos en la fracción de carbono comprendida entre los 53 y 105 μm (COPf) y en COP total (COPf+COPg) en los primeros 5 cm de profundidad. El carbono menor a 53 μm (COa) presentó mayores valores en superficie (0-5 cm) cuando se incorpora el CC dentro del esquema de rotación que incluye gramíneas y leguminosas. Por lo tanto el trigo como CC en este caso incrementó los valores de COP para el caso del monocultivo de soja y el COa para la rotación con gramíneas.

No se observaron diferencias significativas en la disponibilidad de los principales macronutrientes (Ca, Mg, K y P) entre tratamientos para las profundidades consideradas. La rotación con gramíneas y leguminosas (MSTS) determinó una mayor acumulación de Zn y Mn en los primeros 5 cm superficiales del suelo en comparación al monocultivo de soja, estando positivamente correlacionado con mayores contenidos de materia orgánica.

Futuras investigaciones deberán ser realizadas para seguir estudiando el efecto de las rotaciones de cultivos sobre la disponibilidad de nutrientes. Principalmente en el caso de los micronutrientes (especialmente el Zn) que no son tenidos en cuenta generalmente en planteos de fertilización y prácticas de rotaciones o inclusiones de cultivos de cobertura podrían llegar a aumentar su disponibilidad al afectar parámetros físico-químicos del suelo, como se pudo observar en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los fondos para la realización de esta publicación fueron aportados por el Proyecto PICT-2010-0267 "Los balances de carbono y nitrógeno de los suelos pampeanos ante el creciente proceso de agriculturización" y el Proyecto Específico "Estado y dinámica de nutrientes en suelo" del Programa Nacional de Suelos del INTA (PN-SUELOS 1134024).

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C; C Scianca; M Barraco & M Díaz-Zorita. 2010. Cambios en suelos bajo siembra directa con cereales de invierno de cobertura. *En: Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Rosario, Mayo-Junio de 2010.
- Anderson, JE & J Ingram. 1989. The tropical soil biology and fertility programme, TSBF, C.A.B. Intern. (ed), Wallingford, UK. 171 pp.
- Andriulo, A & G Cordone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. *En: Siembra directa* (ed. JL Panigatti; H Marelli, D Buschiazzi, R Gil) INTA y Hemisferio Sur SA. Argentina. 65-96 pp. Aruani, MC & Sanchez, EE. 2002. Manzano, Distribución de micronutrientes en el suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias del Cuyo* 34: 25-30.
- Beltrán, MJ; JA Galantini; R Bredan & E Otero Estrada. 2014. Efecto del centeno sobre los niveles de carbono y nitrógeno del suelo. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca, Buenos Aires. 5 al 9 de mayo.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soils Sci.* 59, 39-45.
- Bremner, JM & CS Mulvaney. 1982. Total Nitrogen. *In: Page AL Ed. Methods of soil Analysis. Part 2. 2nd Edition.* Madison, Wisc, American Society of Agronomy, (Agronomy Series no. 9) pp. 595-624.
- Brutti L; E Giardina; R Michelena; M Perrota; R Romaniuk; S Bacigaluppo; F Salvagioti & A Barneix. 2013. Comparación entre soja monocultivo con soja rotaciones. Jornadas argentinas de conservación de suelos. INTA. Buenos Aires, 2 al 4 de Julio de 2013.
- Buffa Volmer, E & SE Ratto. 2005. Disponibilidad de cinc, cobre, hierro y manganeso extraíble con DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. *Cienc. Suelo* 23: 107-114.
- Cadisch, G; OC de Oliveira; R Cantarutti, C Carvalho & S Urquiaga. 1998. The role of legume quality in soil carbon dynamics in savannah ecosystems. L Bergström, H Kirchmann (eds), Carbon and Nutrient Dynamics in Natural and Agroecological Tropical Ecosystems, CAB International, Wallingford, UK (1998), pp. 47-60.
- Calegari, A; T Tiecher; WL Hargrove; R Ralisch; D Tessier; S de Tourdonnet; M Guimaraes & D Rheinheimer dos Santos. 2013. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. *Soil Till. Res.* 133: 32-39.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 123-130.
- Chandi KS & PN Takkar. 1982. Effects of agricultural cropping systems in micronutrient transformation. *Plant and Soil* 69: 423-436.
- Ciampitti, IA & FO García. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Cereales, Oleaginosos e Industriales. Archivo Agronómico Nro. 11 IPNI. www.ipni.net.
- Ciarlo, E; D Cosentino; O Heredia & ME Conti. 2004. Efecto del uso del suelo sobre fracciones de la materia orgánica y cantidad de agregados estables. *Revista científica agropecuaria* 8(2): 15-23.
- Colozzi-Filho A; Andrade DS; Balota EL. 2001. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema plantio direto. *Informe Agropecuario* 22: 84-91.
- Conteh, A; GJ Blair & IJ Rochester. 1998. Soil organic carbon fractions in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporated cotton stubble. *Aust. J. Soil Res.* 36(4): 655-667.
- Cruzate, GA & RR Casas. 2012. 'Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina'. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6: 1-14.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez L; M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Diovisalvi, NV; GA Studdert; GF Dominguez & MJ Eiza. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánico y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 26(1): 1-11.
- Duval, M; JA Galantini, JO Iglesias; S Canelo; JM Martinez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till Res.* 131: 11-19.
- Duval, M; E Sa Pereira; J Iglesias & JA Galantini. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un Argiudol. *Ciencia del Suelo* 32(1): 105-115.
- Eiza, M; N Fioriti; GA Studdert & HE Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efectos de los sistemas de cultivo de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23: 59-67.
- Fabrizzi, KP; A Morón & FO García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.
- Galantini, JA; RA Rosell; A Andriulo; A Miglierina & J Iglesias. 1992. Humification and nitrogen mineralization of crop residues in semiarid Argentina. *Sci. Total Environ.* 117: 263-270.
- Galantini, J & RA Rosell. 1997. Organic fractions, N, P and S changes in a semiarid Haplustoll of Argentina under different crop sequences. *Soil Till. Res.* 42: 221-228.
- Galantini, JA; N Senesib; G Brunetti & R Rosel. 2004. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina. *Geoderma* 123: 143-152.
- Galantini, J. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. *In: Marban, L, Ratto, S (eds), Manual "Información y Tecnología en los Laboratorios de Suelos para el Desarrollo Agropecuario Sostenible".* de la AACs. Capítulo IV parte 2, pp. 95-106.
- Galantini, J & L Suárez. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 25(1) Córdoba ene./jun.
- Giuffré, L; C Pascale; M Conti; S Ratto & OS Heredia. 1998. Variabilidad espacial del fósforo extractable a nivel micro escala durante el ciclo de un cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranza. *Argic Téc.* 58: 276-284.
- Haby BA & Sims JR. 1979. Availability of micronutrients cation in Montana soils. Montana Agricultural Experiment Station. Bulletin 706.
- Horst, WJ; I Kamh; JM Jibrin & VO Chude. 2001. Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant and Soil* 237: 211-223.
- Iyengar, SS; DC Martens & WP Miller. 1981. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 735-739.
- Kunze, A; M Dalla Costa; J Epping; JC Loffaguen; R Schuh & PE Lovato. 2011. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. *Sci. Sol.* 35: 705-711.

- Lavado, RS & MA Taboada. 2009. The Argentinean Pampas: A key region with a negative nutrient balance and soil degradation needs better nutrient management and conservation programs to sustain its future viability as a world aggroresource. *J. Soil Water Conserv.* 65: 150-153.
- Lindsay, WL & WA Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and cooper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
- Mazzilli, SR; AR Kemanian; OR Ernst; RB Jackson & G Piñeiro. 2014. Priming of soil organic carbon decomposition induced by corn compared to soybean crops. *Soil Biol. Biochem.* 75: 273-281.
- Miretti, MC; M Pilatti; RS Lavado & S Imhoff. 2012. Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Cienc. Suelo* 30: 67-73.
- Moraghan, JT & HJ Mascagni. 1991. Environmental and Soil Factors Affecting Micronutrient Deficiencies and Toxicities. Pp 371-426. JJ Mortvedt, FR Cox, LM Shuman, RM Welch) Eds. *In: Micronutrients in Agriculture*. Published by: Soil Sci Soc Am, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Mortvedt, JJ; PM Giordano & WL Lindsay. 1983. Micronutrientes en Agricultura. AGT Editor S. A. Murage, EW; Voroney PR; Kay BD; Deen B; Beyaert RT. 2007. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(4): 1363-1370.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Page AL (ed). *Methods of soil analysis. Part 2.* Am. Soc. Agr., USA, Agronomy 9: 539-579.
- Ratto, SE. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. Pp. 79-112. *En: Vázquez, M (ed). Micronutrientes en la Argentina.* Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207 pp.
- Restovich, S; A Andriulo & C Améndola. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo* vol. 29, julio.
- Rivero, E; GA Cruzate; R Turati & D Barbero. 2007. Azufre, boro y zinc: mapas de disponibilidad y respuesta a la fertilización en suelos de la Región Pampeana, República Argentina. XVII Congreso Latinoamericano de las Ciencias del Suelo, México. Pág. 67.
- Rivero, E; G Cruzate; M Beltrán; S Russo & A Mallarion. 2012. Spatial variability of phosphorous and its relationship with some properties of soils in Argentina Republic. *J Environ Sci Eng A.* 1: 797-801.
- Roca, N; SM Pazos & J Bech J. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso y zinc en el NO Argentino. Buenos Aires: *Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo* 25(1): 31-42.
- Romaniuk, R & L Giuffré. 2008. Influencia del sistema de manejo y los años de agricultura sobre distintas formas de carbono en un Argiudol vértico bajo producción hortícola. Las fronteras de la física química y ambiental en Iberoamérica. Pag. 169-173.
- Rubio, G; C Mosca; MF Varela; C Scianca & MA Taboada. 2011. Estructura de los suelos arenosos bajo cultivos de cobertura. *Memoria Técnica* 43-47.
- Sainju, UM; HH Schomberg; BP Singh; WF Whitehead; P Tillman & SL Lachnicht-Weyers. 2007. Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *Soil Till Res* 96: 205-218.
- Sainz Rozas, H; M Eyherabide; HE Echeverría; P Barbieri; H Angelini; GE Larrea; G Ferraris & M Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? Actas del Simposio Fertilidad 2013. IPNI-FERTILIZAR. Rosario, 22 a 23 de Mayo de 2013.
- Salmerón, M; R Isla & J Caverro. 2011. Effects of winter cover crops species and planting methods on maize yield and N availability under irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 89-99.
- Salvaggiotti, F; A Vernizzi; M Bodrero & S Bacigaluppo. 2013 Cambios en el corto plazo en distintas fracciones de la materia orgánica en respuesta a la inclusión de cultivos de cobertura en secuencias basadas en soja. *En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción.* Eds. C Alvarez, A Quiroga, D Santos and M Bodrero. pp. 88-91. Ediciones INTA, Anguil, La Pampa.
- Scianca, C; C Alvarez; M Barraco; A Quiroga & P Zalba. 2006. Cultivos de cobertura. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta.
- Shuman LM. 1988. Effects of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron and zinc in soil fractions. *Soil Science Soc. Am. J.* 146: 192-198.
- Simard, RR. 1993. Ammonium acetate-extractable elements, p.39-42. In: M.R.Carter (ed), *Soil sampling and methods of analysis.* Lewis Publishers, Boca Raton, Fla.
- Sims, JT & GV Johnson. 1991. Micronutrient Soil Tests. *In: JJ Mortvedt; PM Giordano & WE Lindsay. (eds): Micronutrients in Agriculture.* 2nd. Ed. SSSA, Madison. Pg.442.
- Studdert, G & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1496-1503.
- Tiecher, T; DA Rheinheimer dos Santos & A Calegar. 2012. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. *Soil Till Res* 124: 57-67.
- Urricariet S & Lavado R. 1999. Indicadores en deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17(1): 37-44.
- Vázquez, M. Micronutrientes en la Agricultura. 1º Edición 2005. Asociación Argentina de las Ciencias del Suelo. 207 pp.
- Villamil MB; GA Bollero; RG Darmody; FW Simmons & DG Bullock. 2006. No till co. rn/soybean systems including winter cover crops: effects on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1936-1944.

